© С.П. Мозер, О.В. Ковалев,
П.К. Швецов, Н.И. Косухин, 2014

УДК 621.039.75

С.П. Мозер, О.В. Ковалев, П.К. Швецов, Н.И. Косухин

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ФОРМЫ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ОЧИСТНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ МОЩНЫХ СОЛЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Выполнено геомеханическое обоснование технологических предложений по повышению устойчивости очистных выработок для условий мощных месторождений соли. Для анализа использовано компьютерное моделирование методами механики сплошных сред. По результатам моделирования предложены направления совершенствования технологических схем очистной выемки камер большого сечения мощных соляных месторождений.

Ключевые слова: каменная соль, моделирование, форма очистного пространства, напряженно-деформированное состояние, подземная разработка.

Мощные месторождения каменной соли, а в частности их структуры купольного типа являются уникальными геологическими объектами, в недрах которых сосредоточены весьма значительные запасы каменной соли [1, 3]. По всему миру найдено и частично исследовано несколько тысяч соляных куполов, при этом отрабатывают подземным способом только несколько десятков из них, а на территории России разрабатывают запасы только Илецкого месторождения купольного типа. Поэтому в данной работе остановимся именно особенностях отработки этого месторождения, т.к. по нему накоплена достаточно представительная база данных о процессах, происходящих в массиве горных пород на различных стадиях добычи полезного ископаемого.

В настоящее время запасы Илецкого месторождения отрабатываются подземным способом рудником № 2 камерной системой разработки с применением механического способа отбойки комбайнами с планетарно-роторным исполнительным органом и управлением состоянием массива горных пород оставлением междукамерных, а также междуэтажных целиков [1]. Высота камер составляет 30 м,

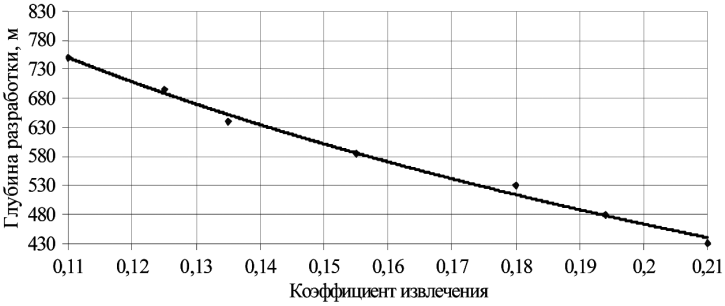

Рис. 1. Изменение коэффициента извлечения соли с увеличением глубины разработки

ширина камер 29 м, ширина целиков 26 м, длина камер достигает 450 м (данные приведены для горизонта –215 м, глубина от поверхности по почве 310 м). Для обеспечения безопасного ведения работ с глубиной постоянно увеличиваются размеры оставляемых целиков соли, что вызывает негативные последствия в виде повышения потерь соли в недрах. В связи со значительным уменьшением коэффициента извлечения (рис. 1) при прочих равных условиях (одинаковом объеме подготовительно-нарезных работ на горизонт, при применении оборудования одного типа и т.д.) можно прогнозировать значительное увеличение себестоимости добытой соли (ориентировочно на 100–120%) (рис. 2).

С целью сохранения показателей извлечения соли при увеличении глубины разработки наиболее целесообразным представляется вариант изменения формы поперечного сечения очистных камер с прямоугольной на полуциркульную или коробовую. В настоящей работе произведем геомеханические исследования, направленные на обоснование типа формы сечения очистной камеры.

Для наиболее адекватной геомеханической оценки влияния формы камер на напряженно-деформированное состояние (НДС) вмещающего массива горных пород (МГП), а, в частности, междукамерных целиков необходимо произвести обобщение данных о физико-механических свойствах соляных пород и оценку вариантов параметров системы разработки на горизонте –215 м на основании исследований НДС элементов МГП методами механики сплошных сред (МСС) и с использованием принципов специальных гипотез горного давления.

Для месторождений горно-химического сырья (в т.ч. месторождений каменно-соляных) механические характеристики пород (и массивов) исследованы достаточно широко в ряде специализированных институтов и организаций (ВНИИСоль, ВНИМИ, ВНИИГалургии). Ниже приведем основные данные о механических свойствах пород, необходимые для оценки параметров НДС несущих элементов массива в условиях Илецкого рудника № 2.

Прочность каменной соли при сжатии, в среднем, может быть принята равной ~30 МПа (т.е. $[\sigma_{сж}] \approx 30$ МПа). То же, при растяжении: $[\sigma_р] \approx 1{,}5$ МПа. При этом длительные (во времени) характеристики каменной соли, например, при сжатии составят от таковых, полученных при условно-мгновенных испытаниях (см. выше), около 50%, т.е. $[\sigma_{сж}]^{\infty} \approx 15$ МПа.

Для выполнения оценок и расчетов параметров НДС в элементах массива необходима информация и о величи-

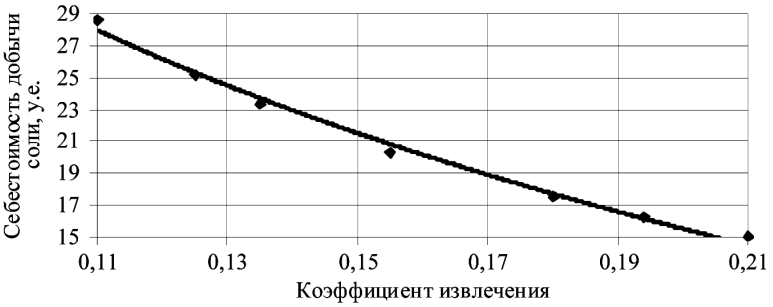

Рис. 2. Зависимость себестоимости добычи соли от коэффициента извлечения

нах предельных деформаций соляных пород. Такие параметры: $[\varepsilon_c]$ предельная деформация, характерная для условно-мгновенных испытаний каменной соли, характеризуется размахом средних значений: 0,025÷0,035 – при наличии для конкретных величин $[\varepsilon_c]$ (в т.ч. и на границах размаха) значений, отвечающих коэффициенту вариации до ~30%. Следовательно, не исключены конкретные (отдельные) значения предельных деформаций сжатия составляющие: минимально – ~1,8%, а максимально – ~4,4% (последнее учтено при оценке сроков достижения в МКЦ вертикальными деформациями их предельных значений; см. выше).

При длительных испытаниях каменно-соляных образцов, в среднем, установлен диапазон для $[\varepsilon_{сж}]^{\infty}$, составляющий: ~0,01÷0,02, характеризуемый приблизительно теми же значениями коэффициента вариации (~≤30%). Горно-геомеханические расчеты требуют наличия данных о деформационных свойствах пород как для обоснования параметров элементов МГП (параметров системы разработки), с оценкой данных об их НДС, так и для интерпретации некоторых результатов натурных экспериментов (например, при использовании геофизических методов). Таковыми являются модули упругости E_y, модули деформаций $E_д$ и коэффициенты Пуассона μ. Кроме того, такие характеристики, обычно, не одинаковы относительно напластования пород (⊥ – ортогонального, || параллельного) и значимо отличны для образцов и для массива. При условно-мгновенных испытаниях (с учетом масштабного эффекта) для каменной соли характерны средние значения модулей упругости: $E_y^{\perp} \approx 10000 \div 11000$ МПа и $E_y^{\parallel} \approx 8000$ МПа. Коэффициенты Пуассона отвечающие тем же условиям, изменяются от ~0,3 до ~0,35. Определяемые при динамических испытаниях модули упругости пород ~ в 1,5 раза выше, а коэффициенты Пуассона ~в 1,2÷1,3 раза ниже вышеприведенных значений.

Для модулей деформаций, достаточно отражающих реальный упруго-пластический режим работы соляных пород, характерны значения, составляющие, обычно 50÷60% от величин модулей упругости.

С учетом натурной трещиноватости массивов, отвечающей Илецкому месторождению соли купольного типа, пересчитанные модули их деформаций составят $\sim 0{,}5 \cdot 10^3$ МПа при $\mu \approx 0{,}4 \div 0{,}43$. Последние характеристики используются при решении горно-геомеханических задач рудника № 2 методами МСС с привлечением математического моделирования на компьютере.

Полученное уточнение в части определения величин коэффициента влияния массива (k_g) на геостатические нагрузки на МКЦ, базирующееся на обобщении натурных исследований, выполненных ВНИМИ УЗК-методом, позволило оценить численные параметры таких нагрузок для глубин ведения работ на гор. 215 м. В частности, при: $H \approx 285$ м; $\psi \approx 550$; $L_i \approx 200$ м; $c \approx 1{,}2$; $d \approx 0{,}544$; $g \approx 1{,}5$ – параметр k_g составит ~0,94. Следовательно, при ширине выработанного пространства (*ВП*) в пределах: $L_{ВП} \le 2 \cdot L_i$, т.е. при $L_{ВП} \approx 400$ м, вертикальная компонента геостатической нагрузки на МКЦ составит около: $\gamma \cdot HL_i \approx (\gamma \cdot H)$. $k_g \approx 6{,}1$ МПа при принятой объемной плотности пород ~2,3 т/м^3.

Рассмотренный подход используется для оценки параметров камерной системы разработки на гор. –215 м с применением положений специальных гипотез горного давления. В частности, возможна оценка параметров МКЦ например, по допустимым напряжениям ($P_д$), т.е. по

некоторому условию прочности [1, 2]. Отметим, что на базе решений с применением математического моделирования на компьютере (метод граничных элементов и др.) в указанном условии фактические нагрузки ($P_ф$) на МКЦ рассчитываются на базе соответствующих горно-геомеханических моделей (ГГМ) и адекватных им расчетных схем (РС), т.е. устанавливается средневзвешенное по ширине целика значение компоненты σ_y тензора σ_{ij}.

Используя упомянутое условие прочности, можем записать:

$$P_ф \cdot n \le P_д,$$

где $P_ф$ – удельная нагрузка на МКЦ, МПа; n – коэффициент запаса прочности МКЦ; $P_д$ – удельная допустимая нагрузка в МКЦ заданной геометрии и прочности, отвечающая его устойчивому (в т.ч. и во времени) состоянию, МПа.

Приходящаяся на МКЦ нагрузка ($P_ф$) в зонах, определяемых неравенством: $L_{ВП} \le 2 \cdot L_i$, может быть рассчитана по зависимости:

$$P_ф = [k_g \cdot (\gamma \cdot H) \cdot (a + b)/b],$$

где a – ширина камеры, м; b – ширина МКЦ, м.

Принимается соосность очистных камер горизонтов «160 м» и «215 м» (т.е. $(a + b) = 55$ м) при высоте камер (МКЦ) на обоих горизонтах $h_к = 30$ м.

Допустимая нагрузка ($P_д$) для МКЦ оценивается по данным о прочности соляных пород на одноосное сжатие, установленной при условно-мгновенных испытаниях ($\sigma_{сж}$, МПа), либо по данным о длительной прочности ($\sigma_{сж}^{\infty}$) пород, отвечающей тому же виду НДС. В последнем случае для соляных пород можем принять: $\sigma_{сж}^{\infty} \approx 0{,}5 \cdot \sigma_{сж}$, МПа.

С учетом приведенных выше механических характеристик каменной соли данного месторождения будем иметь: $\sigma_{сж} \approx 30$ МПа; $\sigma_{сж}^{\infty} \approx 15$ МПа.

Параметр $P_д$, следовательно, определяется зависимостью:

$$P_д \approx \sigma_{сж} \cdot k_1 \cdot k_2,$$

где k_1 – коэффициент формы с учетом поперечного сечения МКЦ (допустимо принять в интерпретации Черна: $k_1 = (b/h_к)^{0,5}$); k_2 – коэффициент формы МКЦ с учетом соотношения длины (ленточного) целика и ширины его поперечного сечения (т.е. b).

Последний коэффициент (k_2) по данным ВНИИСоль для рассматриваемых глубин ведения горных работ допустимо принять равным: $k_2 \approx 1{,}4$.

В приведенном выше условии прочности для МКЦ использован множитель n – коэффициент запаса прочности МКЦ, являющийся некоторой функцией времени: $n = f(t)$ и соответствующий при длительном сроке эксплуатации МКЦ величине: ~3,0.

Отметим, что в случае оценки параметра $P_д$ с использованием данных о $\sigma_{сж}^{\infty}$, учет временного фактора в работе МКЦ посредством коэффициента n нецелесообразен.

Представленные методические аспекты оценок устойчивых состояний МКЦ позволяют рассмотреть вопрос о целесообразности выемки всех запасов гор. 215 м с параметрами системы разработки, принятыми в проекте: $a = 29$ м, $b = 26$ м при $h_к = 30$ м, либо дифференцировать их по выделенным выше на горизонте зонам.

Используя – методически – параметр $\sigma_{сж}$, условие прочности запишется в виде:

$$A \le B,$$

где $A = P_ф \cdot n$; $B = P_{доп.}$

Или:

$$A = \left[\left(\frac{a+b}{b}\right) \cdot \gamma \cdot H \cdot k_g\right] \cdot n;$$

$$B = 1{,}4 \cdot \sigma_{сж} \cdot \left(\frac{b}{h_K}\right)^{0,5}.$$

Таблица 1

Параметры и соотношение	X, м			
	25	**26**	**27**	**28**
A	40,26	38,7	37,2	35,95
B	38,3	39	39,84	40,6
$A \le B$	–	38,7(≈39)	39,4(>37,2)	40,6(>35,95)
$A > B$	40,26(>38,3)	–	–	–

Таблица 2

Параметры и соотношение	X, м			
	25	**26**	**27**	**28**
A	42,9	41,25	39,7	38,3
B	38,3	39	39,8	40,6
$A \le B$	–	–	39,7≈(39,9)	40,6(>38,3)
$A > B$	42,9(>38,3)	41,25(>39,0)	–	–

При соосности камер на горизонтах: $(a + b) = 55$ м и установленных значениях аргументов, определяющих A и B (т.е.: $\gamma \cdot H \approx 6{,}5$ МПа; $k_g \approx 0{,}94$; $n \approx 3$; $\sigma_{сж} \approx 30$ МПа; $h_К = 30$ м), отыскивается величина $X = b$, для которой оценивается устойчивое (неустойчивое) состояние МКЦ. Еще раз подчеркнем, что речь идет о временной устойчивости данного элемента МГП.

Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Анализ табл. 1 показывает, что:

1. Параметры системы: $a = 30$ м; $b = 25$ м при $h_{К(МКЦ)} = 30$ м не обеспечивают необходимое (во времени) устойчивое состояние МКЦ.

2. Параметры системы: $a = 28$ м; $b = 27$ м при $h_{К(МКЦ)} = 30$ м – обеспечивают устойчивость МКЦ свыше принятого срока эксплуатации (при $n \approx 3{,}0$; $t > 150$ лет; [2]).

3. Аналогично предыдущему интерпретируется применение системы разработки с параметрами: $a = 27$ м, $b = 28$ м при $h_{К(МКЦ)} = 30$ м.

4. В рассматриваемых условиях, в соответствие с выполненными по данной методике расчетами, наиболее целесообразна (по геомеханическому фактору, определяющему достаточность устойчивого во времени состояния МКЦ) к применению камерная система разработки с параметрами: $a = 29$ м; $b = 26$ м при $h_{К(МКЦ)} = 30$ м, для которой имеем: $A \approx B$.

Для участков, в пределах которых, в основном, не удовлетворяется неравенство $L_{ВП} \le 2 \cdot L_i$ рассчитываемые параметры (A, B) определяются зависимостями: $A = [(a + b)/b] \cdot \gamma \cdot H \cdot n$; $B = 1{,}4 \cdot \sigma_{сж} \cdot (b/h_К)^{0{,}5}$, а условие устойчивого состояния МКЦ останется прежним: $B \ge A$.

Используя те же величины определяющих «A» и «B» аргументов (см. выше), выполнены расчеты, а их результаты приведены в табл. 2.

Анализ полученных здесь данных показывает, что применение на рассматриваемой части горизонта 215 м камерной системы разработки с проектными параметрами ($a \approx 29$ м; $b \approx 26$ м при $h_{К(МКЦ)} = 30$ м) нецелесообразно, т.к. временная устойчивость МКЦ недостаточно отвечает принятому условию прочности. По геомеханическому фактору здесь целесо-

образнее применить камерную систему разработки с параметрами: a = 28 м; $b \approx 27$ м при $h_{К(МКЦ)} = 30$ м.

Выше рассматривалась возможность, используемая рядом исследователей, при оценке параметров МКЦ, осуществлять их подбор с учетом не $\sigma_{сж}$, а $\sigma_{сж}^{\infty}$. В этом случае временной аспект выбора параметров МКЦ опосредован характеристикой $\sigma_{сж}^{\infty}$, а не коэффициентом $n = f(t)$. Остальные методические положения расчета фактических и допустимых удельных нагрузок (напряжений) в МКЦ (т.е. величин A и B) остаются прежними с учетом градации выделенных в пределах гор. 215 м участков его отработки.

Расчеты показывают, что для отрабатываемых участков обоснованные выше параметры системы разработки ($a \approx 29$ м; $b \approx 26$ м при $h_{К(МКЦ)} = 30$ м) удовлетворяют и в этом случае условию $B > A$, но имеет место существенный запас надежности, оцениваемый величиной ~150%.

Условие вида $B \approx A$, полученное и приведенное в табл. 1, при данном методическом подходе отвечает параметрам системы: $a \approx 35$ м; $b \approx 21$ м при $h_{К(МКЦ)} = 30$ м.

Поскольку результаты выбора параметров камерной системы разработки получены неоднозначными, то была проведена оценка параметров МКЦ для рассматриваемого горизонта с применением математического моделирования на компьютере. Целью исследования являлось определение приходящей в многосвязанной среде, представленной соосными камерами двух горизонтов, нагрузки (величин напряжений) на МКЦ горизонта 215 м. Рассматривались условия, отвечающие выполнению требования $L_{ВП} \le 2 \cdot L_i$, т.е. влиянию массива на НДС его элементов – в частности МКЦ. Поле вертикальной компоненты σ_y тензора напряжений σ_{ij} приведено на рис. 3.

По данным анализа поля σ_y в МКЦ горизонта 215 м, его средневзвешенное значение σ_y составило около ~12,87 МПа, что определило следующие величины A и B: $A \approx 38{,}61$ МПа; $B \approx 39$ МПа, отвечающие параметрам системы: $a \approx 29$ м; $b \approx 26$ м при $h_{К(МКЦ)} = 30$ м.

Подчеркнем еще раз, что при прямом использовании специальных гипотез горного давления параметр A определялся на основании данных о k_g, n и др. аргументов. В случае математического моделирования (методом граничных элементов) величина $P_ф$ адекватна σ_yср, установленному на основании анализа поля компоненты σ_y в МКЦ.

Полученные, для упомянутых параметров системы разработки, величины «A» и «B» достаточно сопоставимы:

- специальная гипотеза горного давления (1-я методика): A = 38,7 МПа; B = 39 МПа;

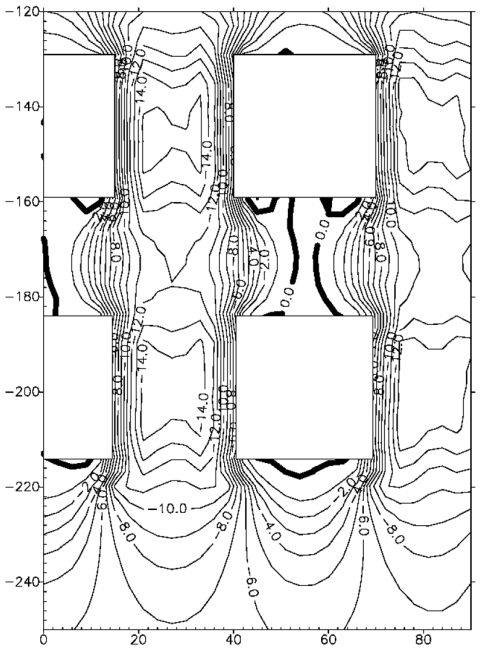

Рис. 3. Эпюра компоненты напряжений σ_y для условий прямолинейной формы кровли камеры горизонта 215 м

• математическое моделирование (метод ГЭ): A = 38,61 МПа; B = 39 МПа.

Резюмируя выполненную оценку размеров МКЦ на гор. 215 м, возможно целесообразными (по геомеханическому фактору) считать следующие параметры системы разработки, дифференцированные по выше указанным зонам:

• зоны 1 $a \approx 29$ м; $b \approx 26$ м при $h_{К(МКЦ)} = 30$ м;

• зона 2 $a \approx 28$ м; $b \approx 27$ м при $h_{К(МКЦ)} = 30$ м.

Выполненная оценка, как отмечалось, отвечала условиям соосности очистных камер на горизонтах 160 м и 215 м, а также геологически-нормальному (без значимого изменения текстурно-структурных, механических и др. характеристик МГП) состоянию пород в МКЦ.

При отработке запасов полезного ископаемого на месторождениях купольного типа традиционной является их погоризонтная выемка. В рассматриваемом случае речь идет об отработке запасов горизонтов 160 м и 215 м (и последующих), разделяемых т.н. межгоризонтной потолочиной (МП) или в иной интерпретации-межгоризонтным целиком.

Данный элемент МГП является несущим элементом, определяющим безаварийную работу не одного, а, по крайней мере, двух горизонтов. С позиции устойчивого геомеханического состояния элементов МГП мощность МП должна быть достаточно значительной (оценочно – несколько десятков метров). С технологической точки зрения такой подход, в тоже время, обусловит не только излишек потерь полезного ископаемого, но усложнит (приведет к удорожанию) подготовку новых горизонтов.

Рациональность принятия решения, по видимому, состоит в необходимости тщательного, научно-обоснованного выбора мощности МП, обеспечивающей достаточную устойчивость несущих элементов системы разработки на горизонтах при требуемом оптимуме извлечения полезного ископаемого из недр в таких условиях. Очевидно, что этому подходу будет соответствовать и определенная инвестиционная оптимальность подготовки новых горизонтов.

Принятые решения о выборе рациональной мощности МП может базироваться на решении горно-геомеханической задачи для квазисплошной неоднородной, многосвязанной среды, упруго-пластическое деформирование которой адаптировано в рамках квазиупругого решения за счет введения соответствующих деформационных характеристик. Само решение подобных задач наиболее удобно реализовать в форме численных решений на компьютере, например, с применением упоминавшегося метода граничных элементов (ГЭ).

В соответствии с приведенным выше подходом была выполнена оценка устойчивости МП между горизонтами 160 м и 215 м и показано, что в ее междукамерной зоне (при $h_{МП} = 25$ м, что принято по проекту) имеют место $\varepsilon_y > 0$, т.е. растягивающие (в вертикальной плоскости) деформации. Для приведенных в отчете соотношений прочностных и деформационных характеристик соляных пород при НДС сжатия и растяжения, полученный результат ($\varepsilon_y > 0$) говорит о необходимости принятия решений по нейтрализации в МП подобного механического состояния. Было показано, что, например, оставление на гор. 215 м опорных целиков (ОЦ) через две, три, либо четыре камеры не улучшает геомеханическую обстановку в МП (не по величине растягивающих деформаций ε_y, не по зональности их распределения в междукамерной области). Резюмирующим

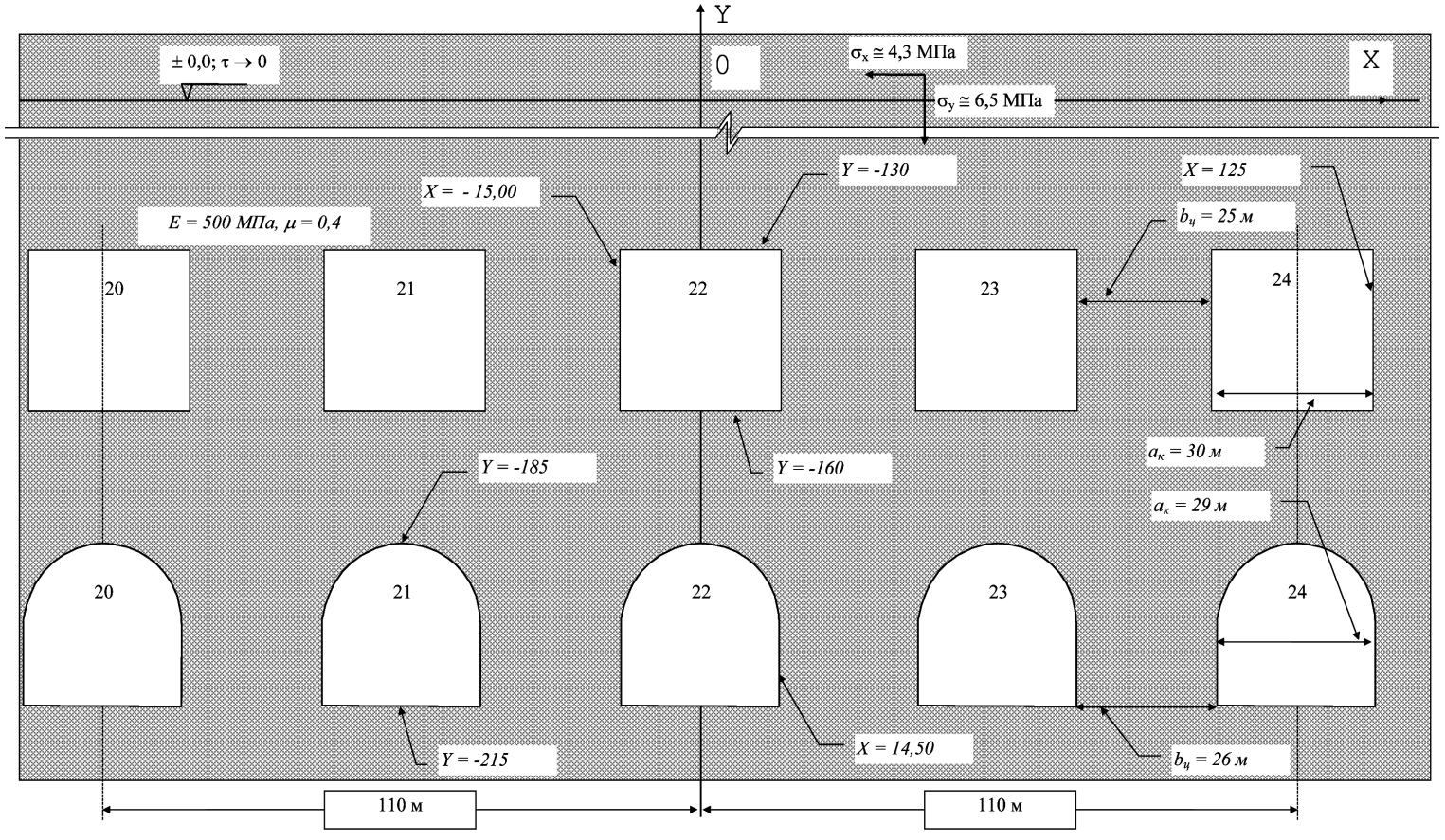

Рис. 4. ГГМ и РС для расчета параметров НДС при моделировании двух горизонтов 160 м и 215 м при полуциркульных сводах камер нижнего горизонта

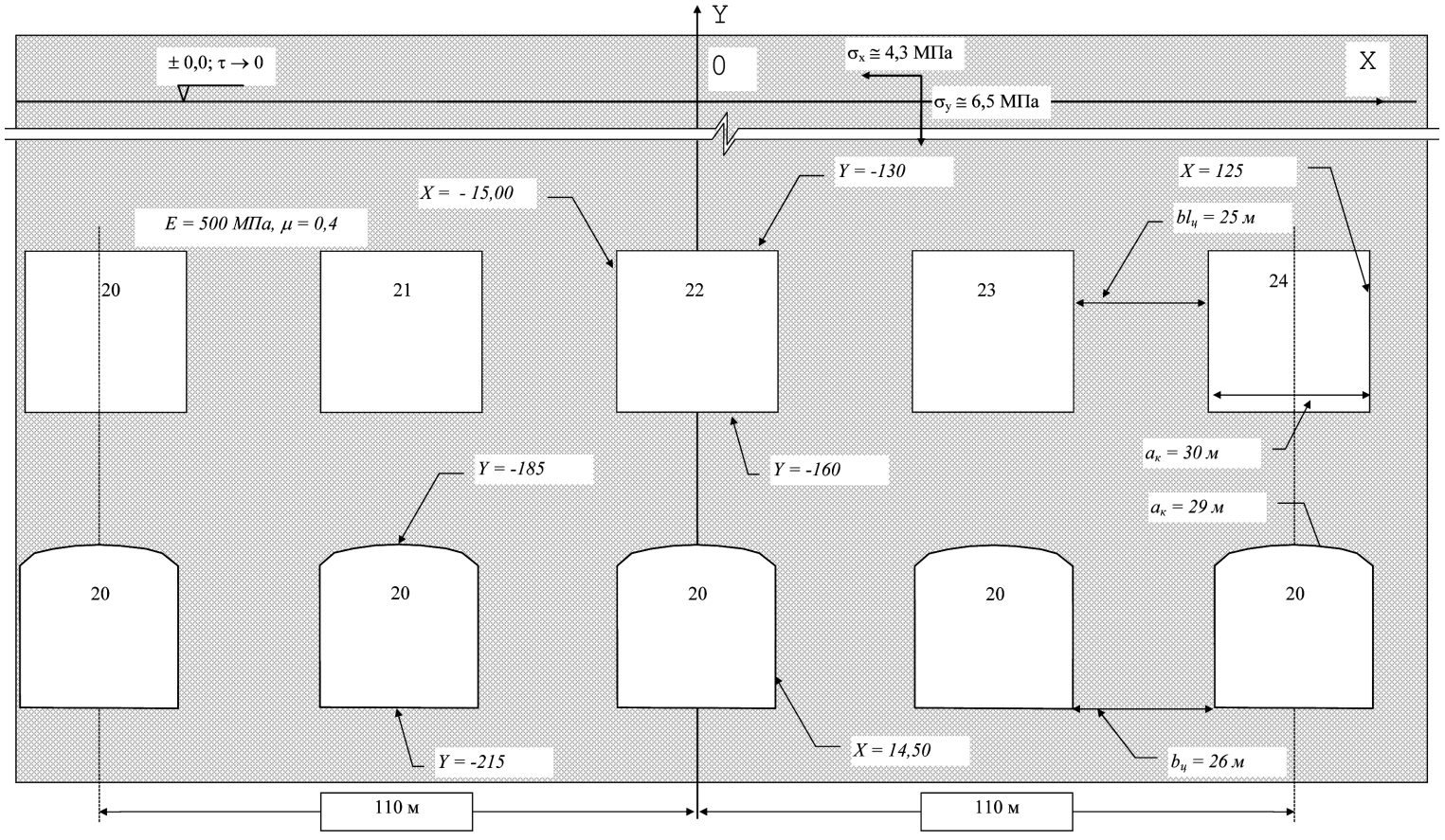

Рис. 5. ГГМ и РС для расчета параметров НДС при моделировании двух горизонтов 160 м и 215 м при коробовых сводах камер нижнего горизонта

было высказано предложение о целесообразности оставления соосного чередования МКЦ и камер на данных горизонтах.

Достаточно кардинальным решением было бы увеличение мощности МП, например, до $h_{МП} \approx 40$ м. В этом случае в междукамерной зоне МП уменьшается площадь растянутой области и сама она смещается в сторону кровли очистных камер гор. 215 м. Это обстоятельство может способствовать рациональному применению локальных, технологически реализуемых, мероприятий по поддержанию кровли в камерах. Однако, учитывая объемы выполненных по подготовке нового горизонта горных работ, увеличение мощности МП является проблематичным вопросом. В этой связи выполнены исследования по повышению устойчивости МП проектной мощности ($h_{МП}$ = 25 м) за счет изменения геометрии контура кровли в очистных камерах гор. 215 м. В рамках общетеоретической оценки с использованием математического моделирования на компьютере (методом ГЭ) исследовались поля компонентов тензоров σ_{ij} и ε_{ij} в МП при условии формирования в камерах полуциркульного контура кровли. Для возможно-прикладной реализации рассматривается также коробовый контур кровли в камерах. Соответствующие РС приведены на рис. 4, 5, а результаты расчетов указанных компонентов на рис. 6–13.

Обобщая результаты анализа, возможно констатировать следующее. Наличие полуциркульного свода в камерах гор. 215 м позволяет существенно сократить область растягивающих деформаций ($\varepsilon_y > 0$) – приблизительно на 50% в сопоставлении с плоским контуром кровли в тех же выработках. Коробовый профиль кровли очистных камер также обеспечивает снижение области растягивающих (в вертикальной плоскости) деформа-

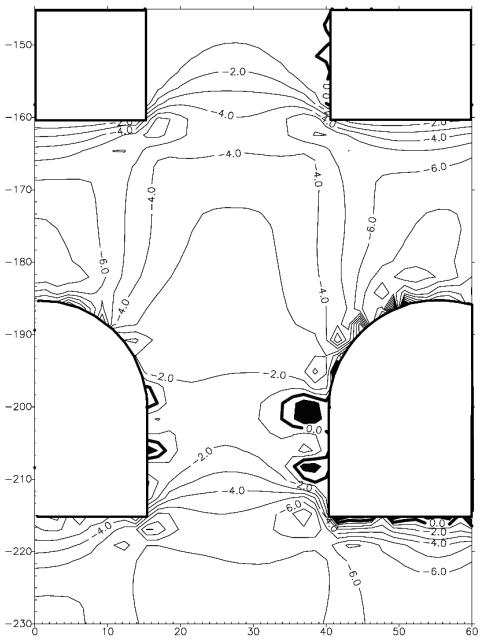

Рис. 6. Поле компоненты σ_x тензора напряжений σ_{ij} в МП ($h_{МП}$ = 25 м) при «полуциркульном» контуре пород кровли очистных камер гор. 215 м

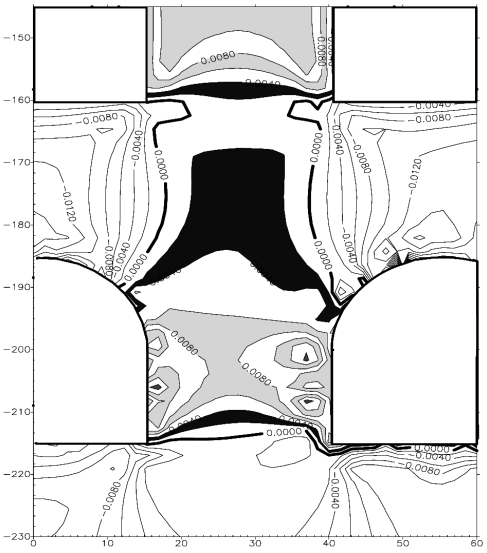

Рис. 7. Поле компоненты ε_x тензора деформаций ε_{ij} в МП ($h_{МП}$ = 25 м) при полуциркульном контуре пород кровли очистных камер гор. 215 м

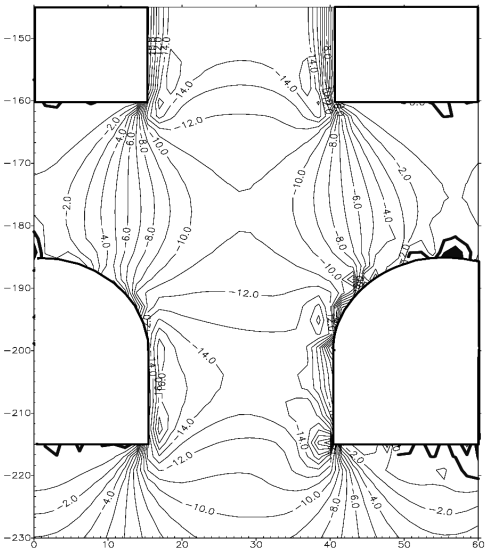

Рис. 8. Поле компоненты σ_y тензора напряжений σ_{ij} в МП ($h_{МП}$ = 25 м) при полуциркульном контуре пород кровли очистных камер гор. 215 м

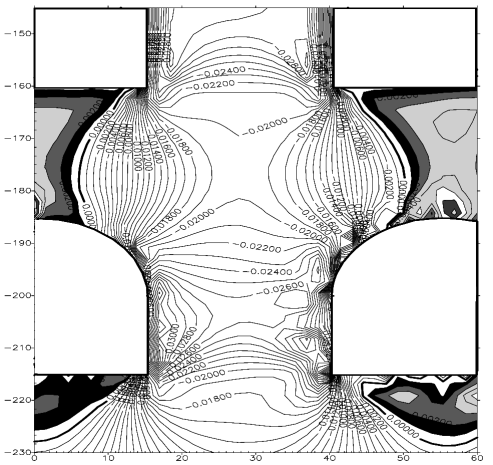

Рис. 9. Поле компоненты ε_y тензора деформаций ε_{ij} в МП ($h_{МП}$ = 25 м) при полуциркульном контуре пород кровли очистных камер гор. 215 м

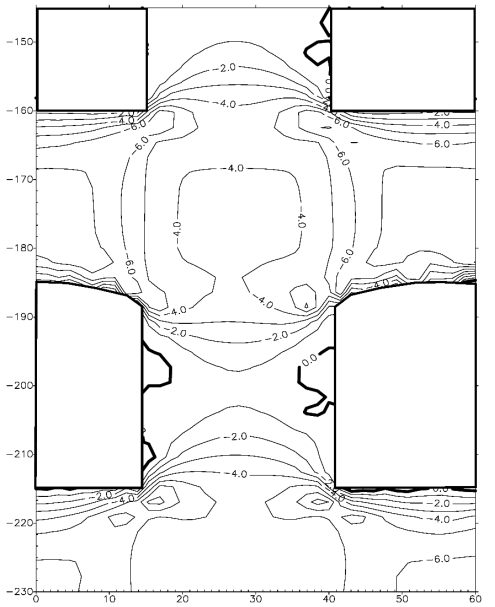

Рис. 10. Поле компоненты σ_x тензора напряжений σ_{ij} в МП ($h_{МП}$ = 25 м) при коробовом контуре пород кровли очистных камер гор. 215 м

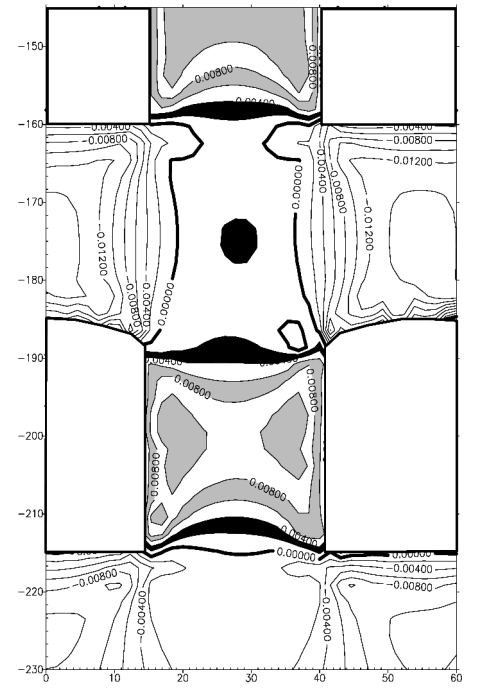

Рис. 11. Поле компоненты ε_x тензора деформаций ε_{ij} в МП ($h_{МП}$ = 25 м) при коробовом контуре пород кровли очистных камер гор. 215 м

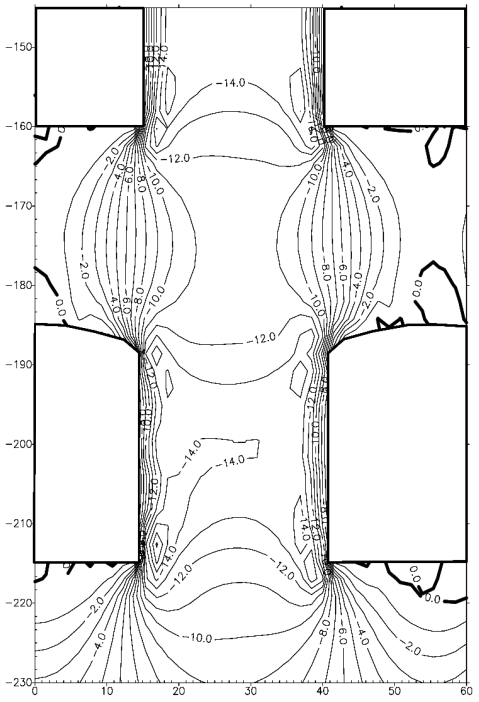

Рис. 12. Поле компоненты σ_y тензора напряжений σ_{ij} в МП ($h_{МП}$ = 25 м) при коробовом контуре пород кровли очистных камер гор. 215 м

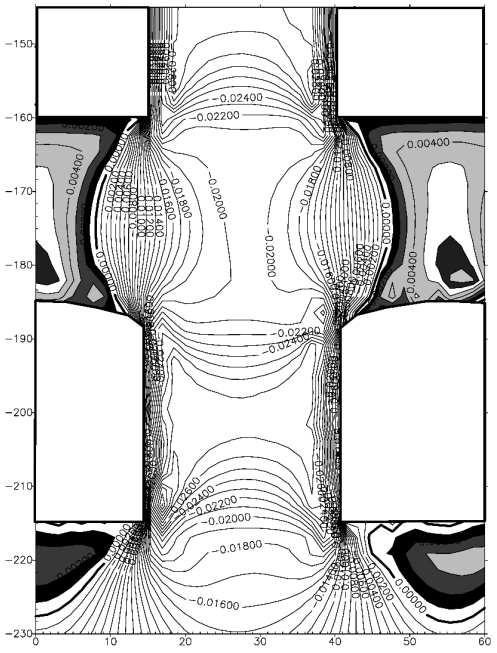

Рис. 13. Поле компоненты ε_y тензора деформаций ε_{ij} в МП ($h_{МП}$ = 25 м) при коробовом контуре пород кровли очистных камер гор. 215 м

ций, но ~ в 3 раз менее эффективно, чем полуциркульный (указанная площадь сократится ~ на 16% в том же сопоставлении с плоским контуром кровли). Следовательно, выполнение в очистных камерах специальных профилей их кровли – даже в случае проектной мощности МП ($h_{МП}$ = 25 м) – позволяет говорить о наличии позитивной тенденции в механическом состоянии рассматриваемого элемента МГП. Более кардинальным, естественно, было бы принятие решения и о параллельном изменении (увеличении) мощности междуэтажной потолочины.

Следует принять во внимание, оценивая механическое состояние МП, и тот факт, что области действия вертикально-ориентированной компоненты напряжений «σ_y», отвечающие ее положительным (растягивающим) значениям и собственно их величины, получены в МП незначительными.

Данные моделирования, таким образом, еще раз показали как наличие тенденций негативного плана в оценке механического состояния МП, так и возможные направления их положительной компенсации (в части конфигурации контура кровли камер, мощности МП и др.).

Собственно параметры МКЦ на гор. 215 м были рассчитаны, а результаты расчетов приведены выше. Обобщая указанные данные приведем целесообразные, по нашему мнению, параметры камерной системы разработки на рассматриваемом горизонте с их дифференциацией по его площади, а также предпочтительный порядок отработки запасов здесь каменной соли.

В основной части гор. 215 м целесообразны параметры систем разработки принятые в проекте, т.е.: $a \approx 29$ м; $b \approx 26$ м при $h_{К(МКЦ)} = 30$ м.

Центральная часть запасов на горизонте требует увеличения ширины МКЦ, а соответственно, применения здесь следующих параметров камерной системы: $a \approx 28$ м; $b \approx 27$ м при $h_{К(МКЦ)} = 30$ м.

Порядок отработки выемки запасов на гор. 215 м, в целом, может характеризоваться направлением ведения очистных работ (развитием их фронта) от границ шахтного поля (горизонта) к его центру. Несмотря на наличие затрат на опережающую подготовку запасов, анализ геомеханического аспекта проблемы, предопределяющего безопасное состояние горных работ, показывает целесообразность именно такого подхода. В этом случае в зоне полной подработки (северный участок) междукамерные целики включаются в работу в последнюю очередь и имеют, соответственно, меньшие сроки их деформирования. Отмеченное не исключает локальной (опережающей по времени) отработки отдельных камер в таких зонах, а лишь говорит об общей тенденции развития горных работ на горизонте.

Приведенная выше информация позволяет высказать мнение об обеспечении достаточной устойчивости междукамерных целиков с указанными параметрами. Их дополнительная разгрузка за счет оставления дополнительных опорных целиков (ОЦ) на данном горизонте нецелесообразна. Не оказывают позитивного эффекта ОЦ и на механическое состояние межгоризонтной потолочины (МП) с практически реализованной в натуре мощностью ($h_{МП} = 25$ м), т.к. и в этом случае в данном элементе массива будут иметь место вертикально ориентированные растягивающие деформации ($\varepsilon_y > 0$). Прослеживаемое, в положительном аспекте, изменение НДС МП может иметь место только при увеличении мощности потолочины (например, до $h_{МП} = 40$ м), что в указанной ситуации развития горных работ на гор. 215 м практически нереализуемо (а при априорной реализации – геомеханически неоднозначно). Заслуживающим, по нашему мнению, следует считать возможное изменение контура кровли очистных камер: в идеале – на полуциркульный свод, либо – более приемлемый технологически (имея в виде очистную выемку с применением проходческо-добычных комбайнов типа «Урал-10КС» и др.) – свод коробового сечения. В последнем случае дополнительной проработки (в т.ч. и исследовательского плана) требует технологический комплекс формирования свода и другие вопросы, в частности, уточняющие порядок ведения подготовительных работ в таких условиях, определяющие средства и способы заданного профилирования пород кровли и др. Расчеты и моделирование продемонстрировали, что использование формы полуциркульной или сводовой формы поперечного сечения очистных камер позволит сохранить, а в некоторых случаях повысить коэффициент извлечения соли в пределах рассмотренного месторождения. Отметим, что проведенное геомеханическое обоснование может быть использовано при оценке и разработке технологических схем освоения мощных соляных месторождений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ковалев О.В., Мозер С.П., Тхориков И.Ю., Куртуков Е.Б., Ковальский Е.Р.* Горно-геомеханические критерии безопасности размещения отходов в горных выработках. – СПб.: Недра, 2012. – 233 с.

2. *Мозер С.П., Куртуков Е.Б.* Горная геомеханика: физические основы и закономерности проявлений геомеханических процессов при подземной разработке месторождений. – СПб.: Недра, 2009. – 136 с.

3. *Ковалев О.В., Мозер С.П., Тхориков И.Ю., Куртуков Е.Б., Ковальский Е.Р.* Прикладные аспекты изучения механических процессов в массивах при подземной разработке месторождений полезных ископаемых. – СПб.: Недра, 2011. – 167 с. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Мозер Сергей Петрович – кандидат технических наук, доцент,
e-mail: mozer1@yandex.ru,
Ковалев Олег Владимирович – доктор технических наук, профессор,
e-mail: spggi4@mail.ru,
Швецов Павел Константинович – аспирант, *e*-mail: pavel_shvecov@bk.ru,
Косухин Николай Игоревич – аспирант, *e*-mail: kola470@mail.ru,
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».

UDC 621.039.75

GEOMECHANICAL SUBSTANTIATION OF CROSS-SECTIONAL SHAPES CHAMBER THE MINE WORKINGS IN UNDERGROUND POWERFUL SALT DEPOSITS

Mozer S.P., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, *e*-mail: mozer1@yandex.ru,
Kovalev O.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, *e*-mail: spggi4@mail.ru,
Shvetsov P.K., Graduate Student, *e*-mail: pavel_shvecov@bk.ru,
Kosukhin N.I., Graduate Student, *e*-mail: kola470@mail.ru,
National Mineral Resource University «University of Mines».

Geomechanical substantiation of technological proposals achieved to increase the stability conditions for chamber the workings of powerful salt deposits. For analysis of computer simulation methods is used of continuum mechanics. Simulation results suggested ways of improving technological schemes sewage extraction chambers of large section of powerful salt deposits. Demonstrated on the basis of calculations and simulations that use forms semicircular or arched cross-sectional shape of treatment chambers allows you to save, and in some cases increase the rate of extraction of salt within the considered deposit.

Keywords: rock salt, modeling, stope ore form, the stress-strain state, underground mining.

REFERENCES

1. Kovalev O.V., Mozer S.P., Tkhorikov I.Yu., Kurtukov E.B., Koval'skii E.R. *Gorno-geomekhanicheskie kriterii bezopasnosti razmeshcheniya otkhodov v gornykh vyrabotkakh* (Geomechanical criteria of safe waste disposal in mine workings), Saint-Petersburg, Nedra, 2012, 233 p.

2. Mozer S.P., Kurtukov E.B. *Gornaya geomekhanika: fizicheskie osnovy i zakonomernosti proyavlenii geomekhanicheskikh protsessov pri podzemnoi razrabotke mestorozhdenii* (Geomechanics in mining: physical bases and regular patterns of geomechanical processes in underground mineral mining), Saint-Petersburg, Nedra, 2009, 136 p.

3. Kovalev O.V., Mozer S.P., Tkhorikov I.Yu., Kurtukov E.B., Koval'skii E.R. *Prikladnye aspekty izucheniya mekhanicheskikh protsessov v massivakh pri podzemnoi razrabotke mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh* (Applied aspects of studying mechanical processes in rock mass in the course of underground mineral mining), Saint-Petersburg, Nedra, 2011, 167 p.